

杉—茶间作热量平衡的研究*

范兴海 黄寿波 傅懋毅 傅金和

摘要 在安徽省黄山市,于夏季对杉—茶间作园与纯茶园进行了微气象观测研究,用梯度法和热量平衡法计算了土壤热通量、潜热通量和湍流热通量。结果表明,热量平衡各分量值一般白天为正、夜间为负,其值的日较差杉—茶间作园比纯茶园小,且杉—茶间作园最大、最小值出现的时间较纯茶园滞后。热量平衡各分量中,潜热通量占净辐射的比值最大(约 1/3~1/2 或更多);湍流热通量值除短时间偶而较大外一般较小;土壤热通量约占净辐射的 1/6。杉—茶间作园潜热通量与湍流热通量的日变化特征与纯茶园差异较大。

关键词 茶园、杉—茶间作园、热量平衡、热量平衡各分量变化

茶树(*Camellia sinensis* (L.) Kuntze)是典型的亚热带常绿阔叶植物^[1],性喜温暖、湿润、散射光和排水良好的酸性土壤,极端的高温、低温、干旱,强烈的直射光,地下水位过高,土壤碱性太重等对茶树生育不利^[2]。热量平衡是发生在下垫面的一种能量平衡过程,是形成小气候的物理基础,也是影响生境系统生产力的重要因素。因此,热量平衡的研究,对利用和改善小气候,提高生产力有重要意义。国内外学者主要通过观测、分析^[3-5]及从理论上探讨热量平衡的求算方法^[6]来进行研究,得出不同下垫面的农田蒸散及热量平衡特征。本文试图通过对林、茶、地面这种林—茶间作的复合下垫面进行热量平衡研究,揭示其小气候形成的机理,为合理利用气候资源提供依据。

1 测试方法

试点设在安徽省黄山市黄山林科所岩寺分所林场内。位于 29°51' N, 118°18' E, 海拔 117 m。这里的气候为亚热带湿润季风气候,土壤为红壤。

本试验分两个小区,杉—茶间作园及纯茶园(对照)。杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.] 于 1977 年定植,株行距 3 m × 6.5 m,树高 12~15 m,主干胸径 20~25 cm,树冠直径 2~3 m,茶树间种在杉木园内,双条种植,树高约 1.1 m,树幅 1.4 m。植被覆盖度(包括杉木及茶树树冠)约 70%,其中茶树郁闭度为 40%。纯茶园于 1975 年定植,高约 1.3 m,双行条栽,株行距 0.5 m × 1.5 m,两双条距离 4.5 m,树冠覆盖度约 40%。

小气候观测于 1992 年 7 月 17~19 日和 8 月 25~27 日进行,为当地的夏茶末和秋茶始采期,每隔 3 h 观测一次。在离地面 50、120、200 cm 高处测定气温、空气湿度和风速;在离地面

1995-03-28 收稿。

范兴海讲师,黄寿波(浙江农业大学 杭州 310029);傅懋毅,傅金和(中国林业科学研究院亚热带林业研究所)。

* 本研究为加拿大国际发展研究中心(IDRC)资助的“中国农用林业系统综合研究/亚热带丘陵坡地农用林业模式研究”项目的部分内容。亚林所曹群根同志参与野外观测,承蒙黄山市林科所赵德铭先生大力协助,在此一并致谢。

120 cm 高处测定净辐射和光强; 用国产 ZF-2 型照度计测定光强; 用 DFY-5 型净辐射表测定净辐射; 用阿斯曼通风干湿表测定气温和湿度; 用热电式微风仪测定风速, 起动 2 min 平均风速, 可测定 0.05 ~ 10 m/s 的风速; 套管式地温表测定地面 (0 cm) 温度; 用曲管地温表测定地面以下 5、10、15、20 cm 土壤温度。

2 结果与分析

2.1 热量平衡方程及其计算

采用翁笃鸣^[7]所述的用热平衡台站规范方法求土中热通量及用热量平衡法计算湍流交换系数及热通量和水汽通量。地面热量平衡方程的表达式为:

$$B = P + LE + Q_s \quad (1)$$

式中 B 为净辐射; P 为湍流热通量; LE 为蒸散耗热; Q_s 为土壤热通量。 B 用净辐射表实测, Q_s 用台站规范法计算, 即:

$$Q_s = C_m / \tau [S_1 - (K/10) S_2] \quad (2)$$

式中 C_m 为土壤容积热容量, 该试验点地表的平均值为 0.51 卡/($\text{cm}^3 \cdot \text{度}$); τ 为时间间隔, $\tau = t_2 - t_1$; K 为导温系数; 计算式为: $K (\text{cm}^2/\text{h}) = M/N$, 其中: $M (\text{卡} \cdot \text{cm}^2) = 26.67(0.06\Delta\theta_0 + \Delta\theta_5 + 1.62\Delta\theta_{10} + \Delta\theta_{15} + 0.06\Delta\theta_{20})$; $N (\text{卡} \cdot \text{h}) = 6[(D_8 + D_{20})/2 + D_{11} + D_{14} + D_{17}]$, 这里 $\Delta\theta_0$ 、 $\Delta\theta_5$ 等为各深度 20 时与 08 时的地温差, D_8 、 D_{11} 等则表示各时土温分布的特征量, 计算式为: $D = (\theta_{0+} - \theta_{20})/2 - \theta_{10}$, 式中 θ_0 、 θ_{20} 、 θ_{10} 为各时次 (8、11、14、17、20 时) 0、20、10 cm 的土温。

S_1 、 S_2 为与土壤温度梯度有关的系数, 计算式为: $S_1 (\text{卡} \cdot \text{cm}) = 20(0.082\Delta\theta_0 + 0.333\Delta\theta_5 + 0.175\Delta\theta_{10} + 0.156\Delta\theta_{15} + 0.004\Delta\theta_{20})$, 式中 $\Delta\theta_0$ 、 $\Delta\theta_5$ 、 $\Delta\theta_{10}$ 、 $\Delta\theta_{15}$ 、 $\Delta\theta_{20}$ 分别为 0、5、10、15、20 cm 深处相邻两次观测时间内的地温差 (由后一时刻减去前一时刻); $S_2 (\text{卡} \cdot \text{h}) = \tau/2 [\theta_{(20, t_1)} - \theta_{(10, t_1)} + \theta_{(20, t_2)} - \theta_{(10, t_2)}]$, 式中 $\tau = t_2 - t_1$, $\theta_{(H, t)}$ 表示在 t 时刻 H 深度的土温。

P 和 LE 均采用热量平衡法计算, 即:

$$P = \{B - Q_s\} \Delta t \gamma (\Delta t + 1.56\Delta e) \quad (3)$$

$$LE = \{B - Q_s\} \Delta e \gamma (\Delta e + 0.64\Delta t) \quad (4)$$

式中 Δt 、 Δe 分别为离地 0.5 m 和 2.0 m 的温度差值及水汽压差值。

2.2 热量平衡的各分量变化特征

2.2.1 净辐射的变化 小气候的观测, 除 7 月 19 日 13 时 20 分开始出现阴天天气, 15 时至 16 时下雷阵雨外, 其余均在典型的晴天条件下观测。从图 1 可知, 晴天条件下纯茶园 1 d 内的净辐射最大值出现在正午前后, 日出后 1 h 左右至日没前 1 h 左右净辐射值大于零。白天随着太阳高度角的变化净辐射值相应发生较大的变化; 而夜间净辐射值则变化较小, 其绝对最大值亦仅为白天最大值的 1/20 ~ 1/8。而晴天条件下杉—茶间作园 1 d 内净辐射最大值出现在 14 时左右, 比纯茶园滞后 2 h 左右; 早上日出后 2.5 ~ 3.5 h 到傍晚日没前后净辐射大于零, 亦比纯茶园落后约 1 ~ 2 h。随着日长的缩短, 1 d 内净辐射大于零的时间越短, 杉—茶间作园相对于纯茶园净辐射滞后的时间就愈长。杉—茶间作园内白天净辐射值比纯茶园小得多, 且随日长的缩短, 太阳高度角的降低, 两者的差距愈大; 夜间总体上讲杉—茶间作园内净辐射的绝对值亦比纯茶园小得多, 这主要是由于杉—茶间作园内杉木白天阻挡太阳辐射, 夜间减弱地面有效辐射的缘故。

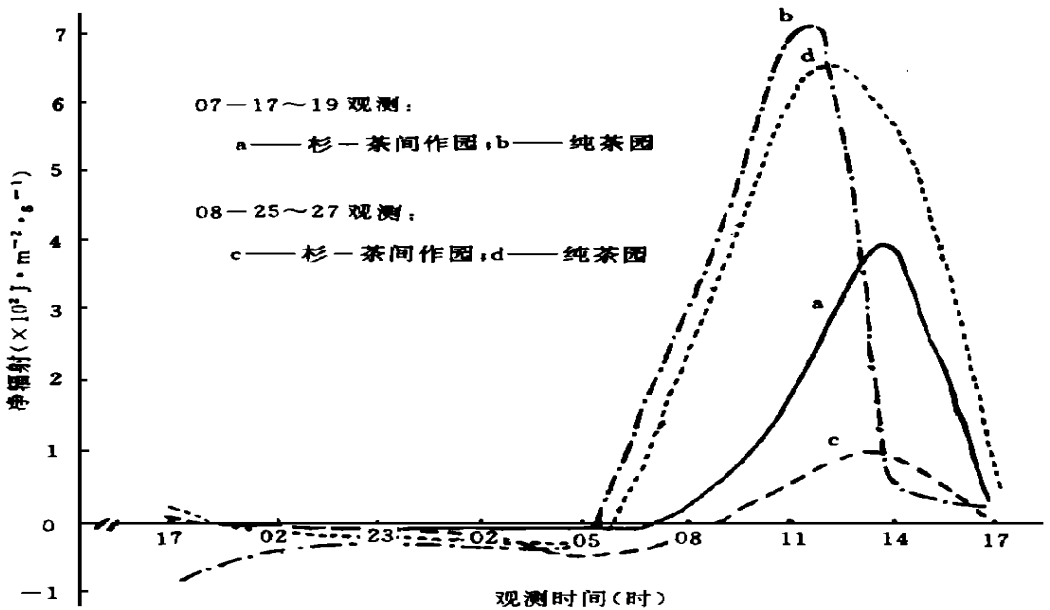


图1 杉-茶间作园与纯茶园的净辐射日变化

2.2.2 土壤热通量的变化 土壤是热量的主要储存场所,白天它是热汇,夜间是土表的热源。土壤热通量的大小决定于温度梯度和土壤导温率,土表与下层的温度梯度越大,则进入土壤或从土壤中散发出来的热量越多,导温率则表征温度波传播的快慢。从图2可知:晴天条件下杉-茶间作园及纯茶园内土壤热通量1d内最大值均出现在14时左右,最小值出现在午夜前后,且杉-茶间作园出现的时间比纯茶园滞后。杉-茶间作园在日出后3~4h至日没前后土壤热通量为正值,其余时间为负值,土壤热通量为零值出现的时间均比纯茶园滞后1~2h;并且总的来说土壤热通量与净辐射的比值杉-茶间作园比纯茶园大。土壤热通量的日变幅杉-茶间作园比纯茶园小得多,仅为纯茶园的1/2。纯茶园内土壤热通量在日出后2.5h至日没前1.5~2.0h为正值,其余时间为负值。杉-茶间作园土壤热通量日变幅小及出现时间滞后,主要是由于杉木日间阻挡太阳辐射,使地表1d内吸收太阳辐射减小,地表温度变化小,对太阳辐射反应缓慢;夜间由于杉木阻挡地面辐射,减少空气乱流,使地表失热减小。小气候观测记录亦表明,纯茶园的表层温度日较差均值比杉-茶间作园高16.5。

2.2.3 潜热通量(蒸散耗热)的变化 潜热通量即蒸散耗热,是热量平衡的另一个重要分量,影响因子很多,与下垫面的辐射平衡、下垫面性质、水分条件及大气的稳定度关系密切。从表1可以看出,潜热通量一般日间大于零,水分蒸发吸收热量;夜间小于零,水汽凝结释放热量。潜热通量为正者出现时间杉-茶间作园比纯茶园长,其负值出现时间杉-茶间作园比纯茶园短,这主要是由于杉-茶间作园夜间失去的长波辐射比纯茶园小得多的缘故,而土表又吸取土壤下层传递的热量,从而使杉-茶间作园夜间潜热通量亦可能出现正值。由于杉-茶间作园日间气象要素变化比较缓和,而纯茶园则变化剧烈,从表1可以看出,杉-茶间作园日间潜热通量的最大值不及纯茶园的一半。从7月18~19日纯茶园的潜热通量变化中可以看出:由于7月

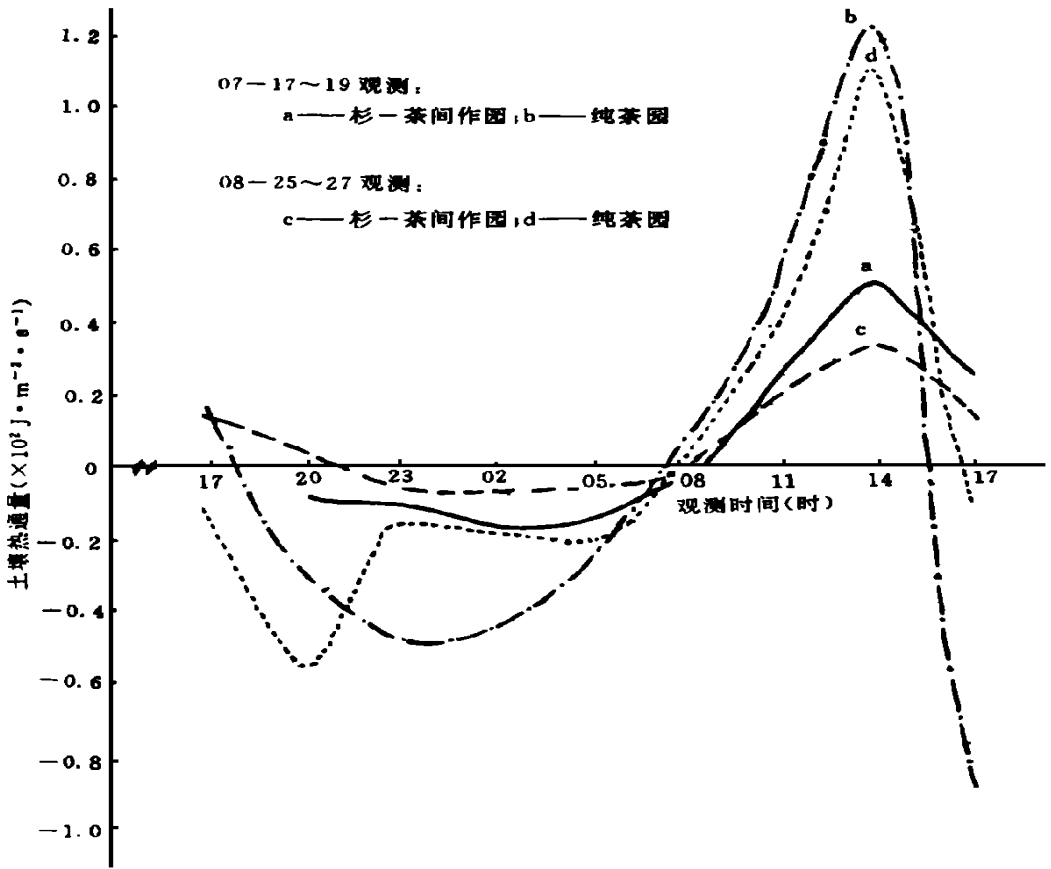


图 2 杉—茶间作园与纯茶园土壤热通量日变化

19日上午为典型的晴天天气,地表潮湿,算得8时和11时的近地表面的理查逊数 Ri 分别为3.6和8.2,大于0,表征此时大气层结稳定,热力作用阻碍湍流运动的发展, Ri 越大,大气层结愈稳定。此时,地表吸收太阳辐射,得热在湍流运动中失热很少(见表2),热量主要用于水分蒸发,如11时的潜热通量很大,可达 $12.8556 \times 10^2 \text{ J} \cdot \text{ m}^{-2} \cdot \text{ s}^{-1}$,8时的潜热通量亦较大。而当接近下雷阵雨时(如14时),潜热通量可以出现负值,是由于此时大气中的水汽开始凝结的缘故。总的说来,在进行观测试验时段内,由于空气中相对湿度较大(7月17~19日的日平均相对湿度杉—茶间作园为83%,纯茶园为81%;8月25~27日的日平均相对湿度杉—茶间作园为

表 1 杉—茶间作园与纯茶园潜热通量的日变化 (单位: $\times 10^2 \cdot \text{ J} \cdot \text{ m}^{-2} \cdot \text{ s}^{-1}$)

茶园类型	日期 (月-日)	观 测 时 间 (时)									
		17	20	23	02	05	08	11	14	17	
纯茶园	07-18-19	-1.3356	-0.0187	-0.1420	-0.0953	-0.0296	4.0567	12.8556	-0.6865	0.8612	
	08-26-27	0.4257	-0.2813	-0.0128	—	-0.0594	0	1.9637	0	1.7573	
杉—茶 间作园	07-17-18	—	0.0509	-0.3248	0.1011	0.0814	0.1780	2.0033	1.0306	0	
	08-25-26	0.0330	-0.0577	0.0274	—	-0.4009	0	0.2627	0.6573	0	

表2 杉—茶间作园与纯茶园湍流热通量的日变化 (单位: $\times 10^2 \cdot \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

茶园类型	日期 (月-日)	观测时间 (时)								
		17	20	23	02	05	08	11	14	17
纯茶园	07-18~19	-0.1907	-0.0086	0.3646	0.2125	-0.0095	-1.0408	-6.3779	0.0528	0.3066
	08-26~27	-0.6211	0.9142	-0.0082	—	-0.0169	2.5820	3.7724	4.7784	-1.1297
杉—茶 间作园	07-17~18	—	-0.0065	0.4134	0.0162	0.0104	0.0143	-0.5507	2.4196	0.0044
	08-25~26	-0.0284	-0.0079	0.1979	—	0.0428	0	0.0374	0.0602	-0.0001

80%, 纯茶园为 79%), 比较潮湿, 潜热通量在热量平衡各项中所占份额较大, 在晴稳天气下, 潜热通量为净辐射值的 $1/3 \sim 1/2$ 。

2.2.4 湍流热通量的变化 湍流热通量也即下垫面与大气之间乱流热量交换强度。大气稳定性和风速是影响湍流交换的主要原因。从表 2 可知: 由于观测期间空气的风速相对较小(杉—茶间作园的日平均风速都为 0.20 m/s , 纯茶园的都为 0.25 m/s 左右), 因此湍流热通量相对都比较小。杉—茶间作园内的风速都比纯茶园小, 因此杉—茶间作园湍流热通量的日变幅比纯茶园小。风速在夜间比较小, 所以湍流热通量在夜间值比较小, 而在白天则随着风速的增加而增加。纯茶园在 7 月 19 日 11 时、8 月 27 日 11、14 时的风速分别为 0.5 、 0.4 、 0.4 m/s , 杉—茶间作园在 7 月 19 日 14 时的风速为 0.4 m/s , 因此此时的湍流热通量的绝对值都比较大。日间地表向空气传递热量, 湍流热通量为正值。但 7 月 19 日上午由于大气层结稳定, $Ri > 0$, 且温度梯度 $\partial \theta / \partial z > 0$, 有平流热作用, 从而使湍流热通量出现负值, 空气向地表传递热量。湍流热通量一般夜里为负值, 空气向地表输送热量。但实际情况并非完全如此, 由于夜间茶园及杉木对地面有效辐射的减弱作用, 特别是杉—茶间作园除了日落后一小段时间内湍流热通量为负值, 从空气向地表传递热量外, 其余时间湍流热通量却为正值, 从地表向空气传递热量, 这是由于午夜前后至日出这段时间杉—茶间作园一方面地面长波辐射热量损失比较小, 另一方面地面吸收地下土壤传递的热量较多的缘故。

3 小 结

通过对杉—茶间作园与纯茶园(对照)的试验结果分析, 可知在亚热带湿润气候区的夏茶及秋茶采摘期, 热量平衡具有以下特征:

(1) 净辐射、土壤热通量、潜热通量、湍流热通量的日变幅杉—茶间作园都比纯茶园小(杉—茶间作园的日变幅仅为纯茶园的 $1/2$ 或更低), 且随日长的缩短, 太阳高度角的减小, 两者间的差异更大。一日中, 上述各要素的最大、最小值出现时间杉—茶间作园较纯茶园滞后。

(2) 热量平衡各要素值一般日间为正值, 夜间为负值。但杉—茶间作园的潜热通量, 特别是湍流热通量夜间亦可出现正值。而纯茶园则基本符合一般情况。在大气层结稳定, 理查逊数特大, 有平流热存在的上午, 潜热通量可很大, 湍流热通量反而出现负值。

(3) 土壤热通量、潜热通量、湍流热通量三项, 在比较潮湿的环境条件下, 潜热通量的值最大, 可达净辐射的 $1/3 \sim 1/2$ 或更大; 土壤热通量一般为净辐射的 $1/6$ 左右; 湍流热通量除正午前后值较大外, 其余时间值较小, 特别对于杉—茶间作园其值更小。

参 考 文 献

- 1 中国农业科学院茶叶研究所主编. 中国茶树栽培学. 上海: 科技出版社, 1986, 128 ~ 142.
- 2 黄寿波, 范兴海, 傅懋毅, 等. 不同林—茶栽培模式小气候特征研究. 林业科学研究, 1994, 7(1): 93 ~ 100.
- 3 贺庆棠. 森林的热量平衡. 林业科学, 1980, 16(1): 24 ~ 33.
- 4 刘树华, 张霭琛, 陈重, 等. 林网化地区动量, 感热和潜热通量的观测研究. 北京大学学报, 1991, 27(1): 79 ~ 88.
- 5 Brutsaert W. The roughness length for water vapor, sensible heat and other scalars, *J. Atmos. Sci.*, 1975, 32: 2028 ~ 2031.
- 6 刘树华. 农田水分蒸散计算方法的比较. 北京大学学报, 1989, 25(5): 594 ~ 604.
- 7 翁笃鸣, 等. 小气候和农田小气候. 北京: 农业出版社, 1981. 41 ~ 93.

Study on Properties of Heat Balance in Tree-tea Intercropping Plantation

Fan Xinghai Huang Shoubo Fu Maoyi Fu Jinhe

Abstract A micro-meteorological observation/ study in tree-tea intercropping plantation and pure tea plantation for comparison have been carried out in Huangshan City, Anhui Province. The soil heat flux, latent heat flux and turbulence heat flux have been calculated by gradient and heat balance methods. Generally speaking, component values of heat balance are positive in day time but negative at night, the date difference of these values from Chinese fir-tea intercropping plantation are smaller than those from pure tea plantation and the appearance time of the maximum and minimum values in the former plantation are coming later. Among all component values of heat balance, the latent heat flux occupies the highest proportion from net radiation, which is around $1/3 \sim 1/2$ or more, generally, turbulence heat flux is lower but it is possible to come higher occasionally in short time while soil heat flux occupies only $1/6$ of net radiation. There is a rather obvious difference on daily dynamic properties of latent heat flux and turbulence heat flux between the two kinds of plantations mentioned above.

Key words tea plantation, forest-tea intercropping plantation, heat balance, component value dynamic

Fan Xinghai, Lecture, Huang Shoubo (Zhejiang Agricultural University Hangzhou 310029), Fu Maoyi, Fu Jinghe (The Research Institute of Subtropical Forestry, CAF).